

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
31 décembre 2003 (31.12.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/001449 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ : G01V 1/28,
1/30

de la Forêt de la Reine, Bâtiment 11, F-54500 Vandoeuvre-les-Nancy (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2003/001754

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : DULAC, Jean-Claude [FR/US]; 2634 Williams Grant, Sugarland, TX 77479 (US). BOSQUET, Fabien [FR/FR]; 33, rue de la Ravinelle, F-54000 Nancy (FR). LABRUNYE, Emmanuel [FR/FR]; 14, rue Camille Mathis, F-54000 Nancy (FR).

(22) Date de dépôt international : 11 juin 2003 (11.06.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
02/07598 19 juin 2002 (19.06.2002) FR

(74) Mandataire : LAGET, Jean-Loup; Cabinet Loyer, 78, avenue Raymond Poincaré, F-75116 Paris (FR).

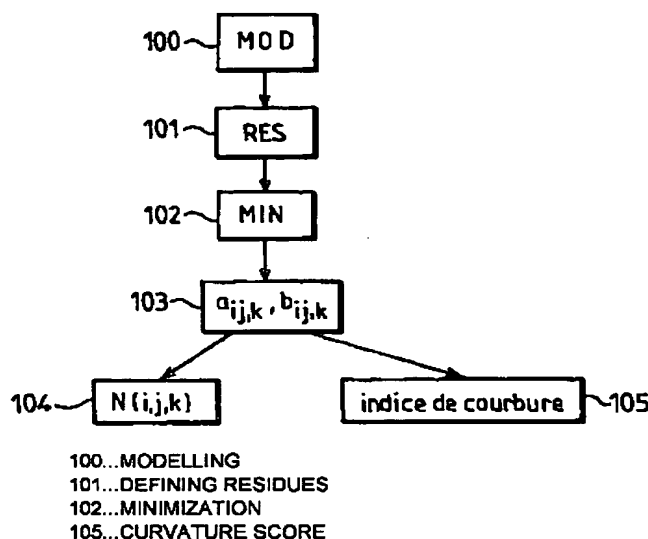
(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : EARTH
DECISION SCIENCES [FR/FR]; Parc d'Activités Technologiques EUROPARC, de NANCY-BRABOIS, 22, allée

(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD, DEVICE AND SOFTWARE PACKAGE FOR LOCALLY DETERMINING THE SHAPE OF GEOLOGICAL HORIZONS

(54) Titre : PROCÉDE, DISPOSITIF ET PRODUIT-PROGRAMME POUR DETERMINER LOCALEMENT LA FORME DES HORIZONS GEOLOGIQUES



(57) Abstract: The invention concerns a method for locally determining a profile of geological horizons comprising a step (100) which consists in digital modelling with continuous local seismic traces, calculating an optimal offset and defining a conditional neighbourhood of a reference central continuous local seismic trace; a step (101) which consists in defining residuals relative to said reference central continuous local seismic trace; a third step (102) which consists in minimizing the set of residuals on said conditional neighbourhood and a fourth step (103) which consists in determining parametric coefficients corresponding to the minimization of the set of residuals on the conditional neighbourhood carried out at step (102).

[Suite sur la page suivante]



MZ, NI, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

- relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii) pour toutes les désignations
- relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv) pour US seulement

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé : Un procédé pour déterminer localement un profil des horizons géologiques comprend une étape 100 de modélisation numérique par traces sismiques locales continues, de calcul du décalage optimal et de définition du voisinage conditionnel d'une trace sismique locale continue "centrale" de référence ; une étape 101 de définition des résidus par rapport à ladite trace sismique locale continue "centrale" de référence ; une troisième étape 102 de minimisation d'ensemble des résidus sur ledit voisinage conditionnel et une quatrième étape 103 de détermination des coefficients paramétriques correspondant à la minimisation d'ensemble des résidus sur le voisinage conditionnel effectué à l'étape 102.

Procédé, dispositif et produit-programme pour déterminer localement la forme des horizons géologiques.

L'invention est relative à un procédé pour déterminer localement la forme des horizons géologiques à partir des données obtenues par traitement de mesures
5 sismiques.

L'invention est également relative à un dispositif pour déterminer localement la forme des horizons géologiques à partir de données obtenues par traitement de mesures sismiques.

L'invention est enfin relative à un produit-programme d'ordinateur permettant
10 le fonctionnement d'un dispositif programmable selon l'invention, pour la mise en œuvre d'un procédé selon l'invention.

Le document US 6 151 555 est relatif à un procédé de traitement de signaux sismiques et à un dispositif pour la détermination d'un cube de valeur de variance. Ce procédé prévoit de calculer pour chaque nœud d'une matrice sismique tridimensionnelle une valeur de variance égale à la variance des amplitudes sismiques
15 au voisinage du nœud considéré. Le voisinage du nœud considéré est un sous-ensemble des nœuds de la matrice tridimensionnelle dont la distance au nœud considéré est inférieure à un seuil choisi. Ce procédé repose sur l'hypothèse que la valeur de variance ainsi définie est importante pour les nœuds proches d'une
20 discontinuité.

Le document WO 99/64896 décrit un procédé d'interprétation de données sismiques, particulièrement adapté pour identifier les limites de réservoirs d'hydrocarbures.

Un premier but de l'invention est d'améliorer les analyses du profil des horizons
25 géométriques.

Un deuxième but de l'invention est de faciliter la détermination des vecteurs unitaires normaux aux horizons d'un cube sismique tridimensionnel.

Un troisième but de l'invention est de faciliter la détermination d'un indice de courbure des horizons dans un cube sismique tridimensionnel.

L'invention a pour objet un procédé pour déterminer localement la forme des
30 horizons géologiques, dans lequel on construit une fonction continue $S_{ij,k}(t)$ par

interpolation ou approximation des traces sismiques discrètes d'une matrice sismique tridimensionnelle, ladite fonction étant désignée comme "trace sismique locale continue", comportant les étapes suivantes :

5 a). utiliser comme décalage optimal de deux traces sismiques locales continues voisines, la valeur de décalage rendant maximale leur fonction de corrélation ;

b). retenir comme voisinage conditionnel d'une trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$ le sous-voisinage consistant en des traces voisines $S_{pq,k}(t)$ correspondant à des décalages optimaux associés à des corrélations $R_{ij,pq,k}(h)$ supérieures à un seuil prédéterminé compris entre 0 et 1 ;

10 c). définir pour chaque trace sismique locale continue $S_{pq,k}(t)$ du voisinage conditionnel une valeur de résidu par rapport à ladite trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$ comportant des coefficients paramétriques ;

d). déterminer les coefficients paramétriques par minimisation d'ensemble des résidus sur le voisinage conditionnel.

15 Selon d'autres caractéristiques de l'invention :

- les valeurs de résidu de l'étape c) sont des valeurs absolues de forme différentielle paramétrique, par exemple $\rho_{ij,pq,k} = | a_{ij,k} \cdot (p-i) + b_{ij,k} \cdot (q-j) - h_{ij,pq,k} |$,

où $a_{ij,k}$ et $b_{ij,k}$ sont les paramètres et $h_{ij,pq,k}$ est le décalage optimal retenu entre la trace sismique locale continue $S_{ij,k}(t)$ "centrale" et une trace sismique locale continue

20 $S_{pq,k}(t)$ voisine,

- la minimisation d'ensemble des résidus $\rho_{ij,pq,k}$ sur le voisinage conditionnel comporte une minimisation d'une somme de puissances des résidus du type suivant

$$C^\alpha(i,j,k) = \sum_{p,q} (\rho_{ij,pq,k})^\alpha, \text{ où } \alpha \text{ est une puissance supérieure ou égale à 1,}$$

25 Le cas échéant, chaque terme $(\rho_{ij,pq,k})^\alpha$ de cette somme peut être pondérée par un facteur fonction croissante du coefficient de corrélation $R_{ij,pq,k}(h_{ij,pq,k})$.

- les coefficients $a_{ij,k}$ et $b_{ij,k}$ déterminés à l'étape d) sont utilisés pour définir un vecteur unitaire $N(i,j,k)$ de coordonnées $N^x(i,j,k)$, $N^y(i,j,k)$, $N^z(i,j,k)$, par exemple de la forme:

$$N^x(i,j,k) = \frac{a_{ij,k}}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}}$$

$$N^y(i,j,k) = \frac{b_{ij,k}}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}}$$

$$N^t(i,j,k) = \frac{1}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 - 1}}$$

et on choisit ce vecteur unitaire comme vecteur unitaire «normal» orthogonal à l'horizon au nœud (i, j, k),

- 5 - on utilise l'ensemble des vecteurs unitaires normaux $N(i, j, k)$ pour définir le champ des vecteurs unitaires normaux, en vue de l'affichage sur écran des profils des horizons sismiques,
- on choisit comme indice de courbure une fonction croissante des résidus comportant les coefficients paramétriques déterminés à l'étape d).
- 10 L'invention a également pour objet un dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention, comportant des moyens pour utiliser comme décalage optimal de deux traces sismiques locales continues voisines la valeur de décalage rendant maximale leur fonction de corrélation, des moyens pour retenir comme voisinage conditionnel d'une trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$ le sous-
- 15 voisinage consistant en des traces voisines $S_{pq,k}(t)$ correspondant à des décalages optimaux associés à des corrélations $R_{ij,pq,k}(h)$ supérieures à un seuil prédéterminé compris entre 0 et 1, des moyens pour définir pour chaque trace sismique locale continue $S_{pq,k}(t)$ du voisinage conditionnel une valeur de résidu par rapport à ladite trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$ comportant des coefficients
- 20 paramétriques et des moyens pour déterminer les coefficients paramétriques par minimisation d'ensemble des résidus sur le voisinage conditionnel.

Selon d'autres caractéristiques de l'invention :

- le dispositif comporte des moyens de mémorisation et des moyens de visualisation de paramètres sismiques déterminés à l'aide du procédé selon l'invention.
- 25 L'invention a enfin pour objet un produit-programme d'ordinateur, comportant des éléments de code de programme pour exécuter les étapes d'un procédé selon l'invention, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

L'invention sera mieux comprise grâce à la description qui va suivre donnée à titre d'exemple non limitatif en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- La figure 1 représente schématiquement une matrice sismique tridimensionnelle et une trace sismique locale continue.

- La figure 2 représente schématiquement, un exemple de voisinage local $N_{ij,k}$ consistant en un ensemble de trace sismique locale continues $S_{pq,k}(t)$ voisines de la trace centrale de référence $S_{ij,k}(t)$ elle même située a la verticale du géophone G_{ij} et interpolant les amplitudes sismiques autour de $t=k$.

- La figure 3 représente schématiquement, une section verticale de voisinage local conditionnel $N_{ij,k}(r)$ d'une trace sismique locale continue de référence $S_{ij,k}(t)$.

- La figure 4 représente schématiquement, une section verticale d'une matrice sismique tridimensionnelle avec un décalage optimal $h_{ij,pq,k}$ et un voisinage conditionnel $N_{ij,k}(r)$.

- La figure 5 représente schématiquement, une section verticale d'une matrice sismique tridimensionnelle analogue à la figure 4 avec présence d'une faille ou discontinuité.

- La figure 6 représente schématiquement, un schéma fonctionnel d'un procédé selon l'invention.

En référence aux figures 1 à 5, les éléments identiques ou fonctionnellement équivalents sont désignés ou repérés de manière identique.

Sur la figure 1, une matrice sismique tridimensionnelle est obtenue par relevé de mesures enregistrées par des géophones G_{ij} disposés sur un réseau x,y en des points de coordonnées i,j . Le relevé des mesures échantillonnées dans le temps est représenté suivant un axe t descendant représentatif de la profondeur ou d'une verticale descendante à partir de la surface de la terre ou de la mer. Les mesures sont caractérisées par leur amplitude, par exemple une amplitude relevée par le géophone G_{ij} au temps ou à la profondeur d'échantillonnage t_k . La mesure discrète effectuée par le géophone G_{ij} au temps ou à la profondeur t_k est appelée amplitude sismique $S_{ij,k}$.

L'ensemble des amplitudes sismiques correspondant à un géophone G_{ij} de coordonnées i,j est une matrice unidimensionnelle $(S_{ij1}, S_{ij2}, \dots, S_{ijk}, \dots, S_{ijN})$ appelées trace sismique discrète, car cette matrice unidimensionnelle correspond à la trace selon le point de coordonnées horizontales i,j de la matrice sismique tridimensionnelle obtenue par mesures sismiques.

L'axe vertical t orienté selon une verticale descendante désigne usuellement le temps, mais peut également être traité pour représenter une profondeur à partir de la surface.

L'invention concerne aussi bien l'application à une troisième coordonnée t représentative du temps, qu'à une troisième coordonnée t représentative de la profondeur.

A partir de la trace sismique discrète située à la verticale d'un géophone G_{ij} on définit, par interpolation ou approximation des valeurs discrètes autour de $t=t_k=k$, une fonction continue $S_{ij,k}(t)$ qui est désignée comme "trace sismique locale continue". Les méthodes d'approximation ou d'interpolation de valeurs discrètes pour engendrer une fonction continue sont nombreuses, et comprennent notamment les interpolations ou approximations polynomiales, ainsi que les interpolations ou approximations trigonométriques polynomiales.

Toute autre variante d'interpolation ou d'approximation fournissant une fonction continue peut également être appliquée à la présente invention pour fournir une "trace sismique locale continue".

Sur la figure 2, plusieurs traces sismiques locales continues définissent un exemple de voisinage d'une trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$ de référence. Le voisinage d'une trace sismique locale continue $S_{ij,k}(t)$ est défini comme l'ensemble des traces sismiques locales continues dont les indices spaciaux horizontaux p,q sont voisins des indices spaciaux horizontaux i,j de la trace sismique locale continue de référence.

A titre d'exemple, les coordonnées spatiales horizontales p,q correspondant au géophone G_{pq} sont voisines des coordonnées spatiales horizontales i,j correspondant au géophone G_{ij} si les valeurs absolues des différences $i-p$ et $j-q$ sont inférieures à des entiers donnés, par exemple à 2.

Dans ce cas, comme représenté à la figure 2, la trace sismique locale continue $S_{ij,k}(t)$ est associée à huit traces sismiques locales continues voisines entourant la trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$.

Dans le cas de traces sismiques locales continues produites par des mesures sismiques, la forme des horizons géologiques introduit des décalages verticaux entre des traces sismiques locales continues voisines. Dans le but de déterminer des relations

entre deux traces sismiques continues locales voisines $S_{ij,k}(t)$ et $S_{pq,k}(t)$ centrées sur la même coordonnée verticale d'échantillonnage $t=t_k=k$ et correspondant à des coordonnées spatiales ij et p,q différentes, on calcule la fonction de corrélation $R_{ij,pq,k}(h)$ des deux traces sismiques locales continues.

5. La fonction de corrélation de deux traces sismiques locales continues voisines est obtenue par la formule suivante

$$R_{ij,pq,k}(h) = \frac{C_{ij,pq,k}(h)}{\sqrt{C_{ij,ij,k}(0) \cdot C_{pq,pq,k}(0)}}$$

où le numérateur correspond à la fonction de covariance de $S_{ij,k}(t)$ et $S_{pq,k}(t)$

- 10 obtenue par l'expression suivante $C_{ij,pq,k}(h) = \int_{t_k-\Delta}^{t_k+\Delta} S_{ij,k}(t) \cdot S_{pq,k}(t+h) \cdot dt$.

Dans cette intégrale définissant $C_{ij,pq,k}(h)$, le paramètre Δ définit une « fenêtre verticale d'investigation » autour de $t=t_k=k$.

Par exemple, si les traces sismiques locales continues $S_{ij,k}(t)$ et $S_{pq,k}(t)$ sont des polynômes trigonométriques de la forme suivante interpolant les données sismiques

- 15
$$S_{ij,k}(t) = \sum_{s=1}^m a_s^{ij,k} \cdot \cos(s\omega t) + b_s^{ij,k} \cdot \sin(s\omega t)$$

$$S_{pq,k}(t) = \sum_{s=1}^m a_s^{pq,k} \cdot \cos(s\omega t) + b_s^{pq,k} \cdot \sin(s\omega t)$$

alors on peut montrer que la fonction de covariance $C_{ij,pq,k}(h)$ est elle même un polynôme trigonométrique de la forme suivante où les coefficients $A_s^{ij,pq,k}$ et $B_s^{ij,pq,k}$ dépendent des coefficients $a_s^{ij,k}$, $a_s^{pq,k}$, $b_s^{ij,k}$ et $b_s^{pq,k}$:

- 20

$$C_{ij,pq,k}(h) = \sum_{s=1}^m A_s^{ij,pq,k} \cdot \cos(s\omega h) + B_s^{ij,pq,k} \cdot \sin(s\omega h)$$

Un résultat mathématique classique et connu est que la fonction de corrélation

$$R_{ij,pq,k}(h) = \frac{C_{ij,pq,k}(h)}{\sqrt{C_{ij,ij,k}(0) \cdot C_{pq,pq,k}(0)}} \quad \text{traduit une similarité des fonctions corrélées}$$

- 25 lorsque cette fonction de corrélation se rapproche de 1.

L'étude des fonctions de corrélation des traces sismiques locales continues $S_{ij,k}(t)$ et $S_{pq,k}(t)$ permet de définir comme décalage optimal la valeur $h_{ij,pq,k}$ de h

correspondant au maximum de la fonction de corrélation $R_{ij,pq,k}(h)$, c'est-à-dire au maximum de la fonction de corrélation le plus proche de 1. Contrairement à l'art existant basé sur une formulation discrète de la fonction de corrélation $R_{ij,pq,k}(h)$, l'utilisation d'une formulation continue des traces sismiques et donc de la fonction de corrélation permet d'obtenir un décalage optimum qui n'est pas contraint à être un multiple entier du pas d'échantillonnage suivant l'axe vertical correspondant à la variable t .

La définition du décalage optimal $h_{ij,pq,k}$ de deux traces sismiques locales continues voisines permet d'obtenir une première approximation des horizons passant par cette trace sismique locale continue de référence $S_{ij,k}(t)$, comme représenté aux figures 3 à 5. Contrairement à l'art existant, le fait d'utiliser des décalages optimaux qui ne sont pas contraint à être un multiple entier du pas d'échantillonnage suivant l'axe vertical permet d'éviter des erreurs connues sous le nom de «aliasing».

Sur ces figures 3 à 5, on définit un voisinage conditionnel $N_{ij,k}(r)$ de la trace sismique continue locale de référence $S_{ij,k}(t)$ qui est un sous-voisinage du voisinage initial des traces sismiques locales continues retenues pour le calcul de corrélation et de définition des décalages optimaux. Le voisinage conditionnel $N_{ij,k}(r)$ est choisi de manière que, pour toute trace sismique continue locale $S_{pq,k}(t)$ appartenant à $N_{ij,k}(r)$, le décalage optimal $h_{ij,pq,k}$ correspondant est tel que la corrélation $R_{ij,pq,k}(h_{ij,pq,k})$ entre $S_{ij,k}(t)$ et $S_{pq,k}(t)$ est supérieure à un seuil prédéterminé r compris entre 0 et 1.

Comme on le voit sur la figure 5, la fixation du seuil r permet également d'englober dans un voisinage conditionnel une discontinuité ou une faille géologique, ce qui constitue un avantage important par rapport à l'art antérieur.

Les dispositions précitées fournissent ainsi une modélisation continue permettant la mise en œuvre de l'invention.

Sur la figure 6, la modélisation numérique décrite en référence aux figures 1 à 5 est effectuée à l'étape 100 pour mettre en œuvre un procédé selon l'invention.

Après cette étape 100 de modélisation numérique, on définit à l'étape 101, pour chaque trace sismique locale continue $S_{pq,k}(t)$ du voisinage conditionnel $N_{ij,k}(r)$ une valeur de résidu par rapport à ladite trace sismique locale continue $S_{ij,k}(t)$ centrale de référence comportant des coefficients paramétriques.

La valeur de résidu $\rho_{ij,pq,k}$ choisie traduit l'écart entre l'horizon à la verticale du géophone G_{pq} et le plan tangent à l'horizon à la verticale du géophone G_{ij} .

A titre d'exemple non limitatif, on peut définir comme valeur de résidu une valeur absolue de forme différentielle paramétrique, du genre :

- 5 $\rho_{ij,pq,k} = | a_{ij,k} \cdot (p-i) + b_{ij,k} \cdot (q-j) - h_{ij,pq,k} |$, où $a_{ij,k}$ et $b_{ij,k}$ sont des paramètres et $h_{ij,pq,k}$ est le décalage optimal retenu entre la trace sismique locale continue $S_{ij,k}(t)$ "centrale" et une trace locale sismique locale continue $S_{pq,k}(t)$ voisine.

- Après avoir défini l'ensemble des résidus sur le voisinage conditionnel $N_{ij,k}(r)$, on détermine les paramètres $a_{ij,k}$ et $b_{ij,k}$ qui correspondent à une minimisation
10 d'ensemble des résidus $\rho_{ij,pq,k}$ sur le voisinage conditionnel à l'étape 102.

Le critère de minimisation choisi est arbitraire, et peut par exemple comporter une minimisation d'une somme de puissance supérieure à 1 des résidus, de la forme

$$C^n(i,j,k) = \sum_{p,q} (\rho_{ij,pq,k})^n, \text{ où } n \text{ est une puissance réelle positive supérieure à } 1.$$

- Le cas échéant, chaque terme $(\rho_{ij,pq,k})^n$ de cette somme peut être pondérée par
15 un facteur fonction croissante du coefficient de corrélation $P_{ij,pq,k}(h_{ij,pq,k})$.

- La minimisation effectuée à l'étape 102 produit comme résultat à l'étape 103 la meilleure estimation des coefficients $a_{ij,k}$ et $b_{ij,k}$ qui sont les coefficients directeurs de l'horizon passant par le point de coordonnées horizontales i,j et de coordonnée
20 temporelle ou de profondeur k .

A l'étape 104, selon une première variante de l'invention, on détermine les vecteurs unitaires normaux à l'horizon passant par le point de coordonnées spatiales i,j et de coordonnée temporelle ou de profondeur k par des formules de type connu :

$$\begin{aligned} 25 \quad N^x(i,j,k) &= \frac{a_{ij,k}}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}} \\ N^y(i,j,k) &= \frac{b_{ij,k}}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}} \\ N^z(i,j,k) &= \frac{1}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}} \end{aligned}$$

Le vecteur unitaire normal ainsi obtenu ou tout vecteur qui lui est parallèle permet une visualisation sur écran plus efficace que les visualisations de l'art antérieur, de manière à révéler les paramètres sismiques et les profils des horizons géologiques avec un contraste amélioré par rapport à l'art antérieur.

- 5 Pour une autre variante de l'invention à l'étape 105, on choisit comme indice de courbure de l'horizon au point de coordonnées spatiales i, j et de coordonnée temporelle ou de profondeur k une fonction croissante des résidus comportant les coefficients $a_{ij,k}$ et $b_{ij,k}$ déterminés à l'étape 103.

- On peut notamment utiliser comme indicateur ou indice de courbure le critère
 10 de minimisation $C^{\alpha}(i,j,k) = \sum_{p,q} (\rho_{ij,pq,k})^{\alpha}$ utilisé pour calculer les coefficients paramétriques $a_{ij,k}$ et $b_{ij,k}$ déterminés à l'étape 103.

On peut également utiliser sans sortir du cadre de la présente invention, toute autre fonction croissante des résidus sur le voisinage conditionnel $N_{ij,k}(r)$.

- En effet, dans le cas où l'horizon est parfaitement plan au voisinage du point de
 15 coordonnées spatiales i,j et de coordonnée temporelle ou de profondeur k , toute fonction croissante des résidus sera égale à zéro et l'indice de courbure locale sera par conséquent également égal à zéro.

- Au contraire, dans le cas où l'horizon au point de coordonnées spatiales i,j et de coordonnée temporelle ou de profondeur k n'est pas plan, l'indice de courbure calculé à
 20 l'étape 105 du procédé selon l'invention fournit une indication ou une mesure de la différence entre l'horizon considéré et le plan localement osculateur au point de coordonnées spatiales i,j et de coordonnée temporelle ou de profondeur k .

- L'invention permet également par le calcul de l'indice de courbure et sa représentation graphique sur un écran d'améliorer le contraste des mesures sismiques
 25 fournies par les géophones sous forme de matrice sismique tridimensionnelle et d'éviter ainsi des mesures sismiques additionnelles jugées au voisinage de discontinuités ou de failles géologiques.

- La mise en œuvre préférée d'un procédé selon l'invention consiste à utiliser un dispositif pour la mise en œuvre du procédé contenant un produit-programme
 30 d'ordinateur exécutant les étapes du procédé selon l'invention décrites en référence aux figures 1 à 6.

A cet effet, le dispositif selon l'invention est muni de moyens de mémorisation appropriés pour mémoriser et calculer les éléments successivement utilisés dans le procédé selon l'invention.

5 De préférence, la mise en œuvre du procédé selon l'invention s'effectue sur une station de travail de calculs sismiques en chargeant un produit-programme selon l'invention comportant des éléments de codes de programme pour exécuter les étapes du procédé selon l'invention.

Le produit-programme peut comporter des éléments de codes de programme relatifs aux étapes 100, 101, 102, 103 et 104 décrites en référence à la figure 6.

10 Alternativement, le produit-programme selon l'invention peut comporter les éléments de codes de programme pour exécuter les étapes 100, 101, 102, 103 et 105 décrites en référence à la figure 6.

15 Selon d'autres variantes, un produit-programme d'ordinateur selon l'invention peut également comporter des éléments de codes de programme pour exécuter au moins l'ensemble des étapes de procédé décrites en référence à la figure 6.

L'invention décrite en référence à plusieurs modes de réalisation n'y est nullement limitée, mais couvre au contraire toute modification de forme et toute variante de mise en œuvre, incluant ou non une présentation de résultats intermédiaires sur écran de visualisation.

REVENDICATIONS

1. Procédé pour déterminer localement la forme des horizons géologiques, dans lequel on construit une fonction continue $S_{ij,k}(t)$ par interpolation ou approximation des traces sismiques discrètes d'une matrice sismique tridimensionnelle, ladite fonction
 5 $S_{ij,k}(t)$ étant désignée comme "trace sismique locale continue", comportant les étapes suivantes :

a). utiliser comme décalage optimal de deux traces sismiques locales continues voisines, la valeur de décalage rendant maximale leur fonction de corrélation, ce décalage optimal n'étant pas contraint à être un multiple entier du pas
 10 d'échantillonnage vertical ;

b). retenir comme voisinage conditionnel d'une trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$ le sous-voisinage consistant en des traces voisines $S_{pq,k}(t)$ correspondant à des décalages optimaux $h_{ij,pq,k}$ associés à des corrélations $R_{ij,pq,k}(h_{ij,pq,k})$
 15 supérieures à un seuil prédéterminé compris entre 0 et 1 ;

c). définir pour chaque trace sismique locale continue $S_{pq,k}(t)$ du voisinage conditionnel une valeur de résidu par rapport à ladite trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$ comportant des coefficients paramétriques ;

d). déterminer les coefficients paramétriques $a_{ij,k}$ et $b_{ij,k}$ par minimisation
 20 d'ensemble des résidus sur le voisinage conditionnel.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les valeurs de résidu de l'étape c) sont des valeurs absolues de forme différentielle paramétrique, par exemple $| a_{ij,k} \cdot (p-i) + b_{ij,k} \cdot (q-j) - h_{ij,pq,k} |$, où $a_{ij,k}$ et $b_{ij,k}$ sont les paramètres et $h_{ij,pq,k}$ est le décalage optimal retenu entre la trace sismique locale continue $S_{ij,k}(t)$ "centrale" et une trace
 25 locale sismique locale continue $S_{pq,k}(t)$ voisine.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel la minimisation d'ensemble des résidus $\rho_{ij,pq,k}$ sur le voisinage conditionnel comporte une minimisation d'une somme de puissances des résidus, de la forme

$$C^{\alpha}(i,j,k) = \sum_{p,q} (\rho_{ij,pq,k})^{\alpha}, \text{ où } \alpha \text{ est une puissance supérieure à 1.}$$

4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les coefficients $a_{ij,k}$ et $b_{ij,k}$ déterminés à l'étape b) sont utilisés pour définir un vecteur unitaire $N(i,j,k)$ de coordonnées $N^x(i,j,k)$, $N^y(i,j,k)$, $N^z(i,j,k)$, par exemple de la forme:

$$\begin{aligned} N^x(i,j,k) &= \frac{a_{ij,k}}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}} \\ N^y(i,j,k) &= \frac{b_{ij,k}}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 + 1}} \\ N^z(i,j,k) &= \frac{1}{\sqrt{(a_{ij,k})^2 + (b_{ij,k})^2 - 1}} \end{aligned}$$

et dans lequel on choisit ce vecteur unitaire comme vecteur unitaire normal (orthogonal) à l'horizon du nœud (i, j, k) .

5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel on utilise l'ensemble des vecteurs unitaires normaux $N(i, j, k)$ pour définir le champ des vecteurs unitaires normaux, en vue de l'affichage sur écran des profils des horizons sismiques.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel on choisit comme indice de courbure une fonction croissante des résidus comportant les coefficients paramétriques déterminés à l'étape d).

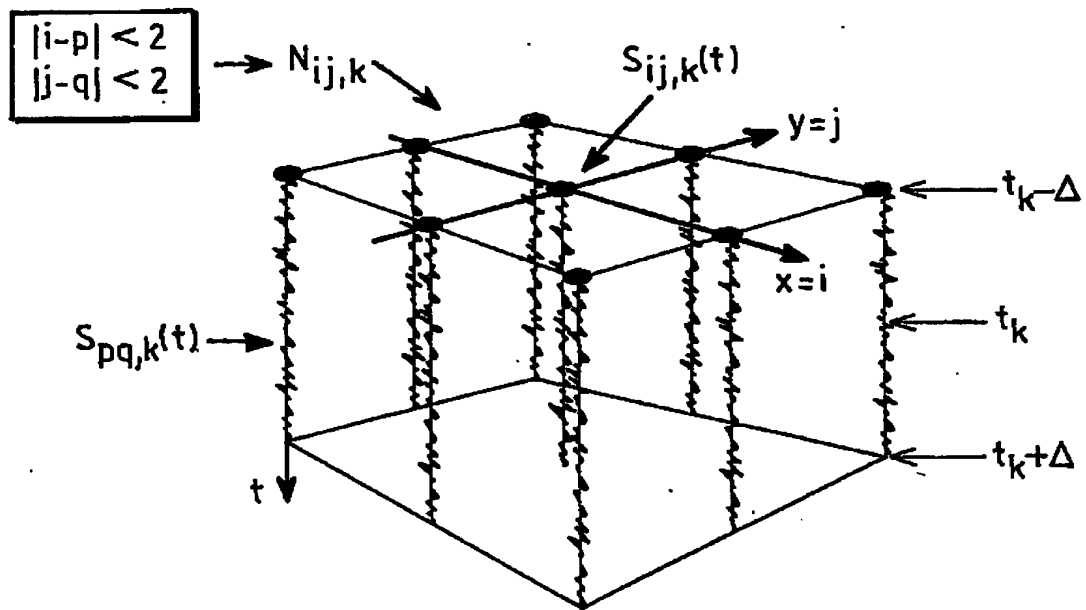
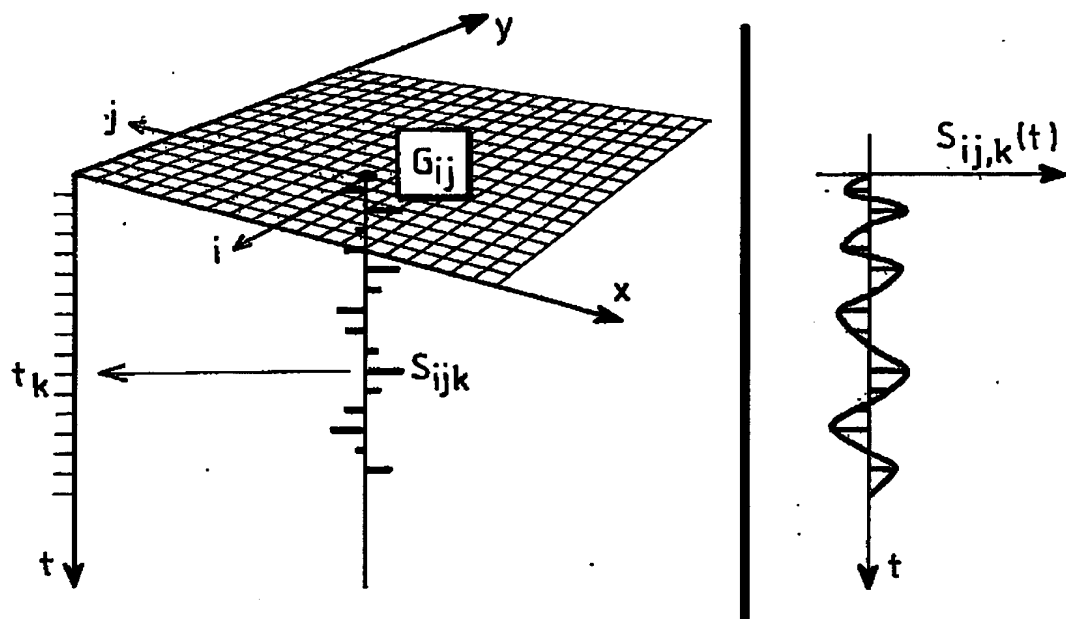
7. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comportant des moyens pour utiliser comme décalage optimal de deux traces sismiques locales continues voisines la valeur de décalage rendant maximale leur fonction de corrélation, des moyens pour retenir comme voisinage conditionnel d'une trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$ le sous-voisinage consistant en des traces voisines $S_{pq,k}(t)$ correspondant à des décalages optimaux associés à des corrélations $R_{ij,pq,k}(h)$ supérieures à un seuil prédéterminé compris entre 0 et 1, des moyens pour définir pour chaque trace sismique locale continue $S_{pq,k}(t)$ du voisinage conditionnel une valeur de résidu par rapport à ladite trace sismique locale continue "centrale" $S_{ij,k}(t)$ comportant des coefficients paramétriques et des moyens pour déterminer les coefficients paramétriques par minimisation d'ensemble des résidus sur le voisinage conditionnel.

8. Dispositif selon la revendication 7, comportant des moyens de mémorisation et des moyens de visualisation de paramètres sismiques déterminés à l'aide du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

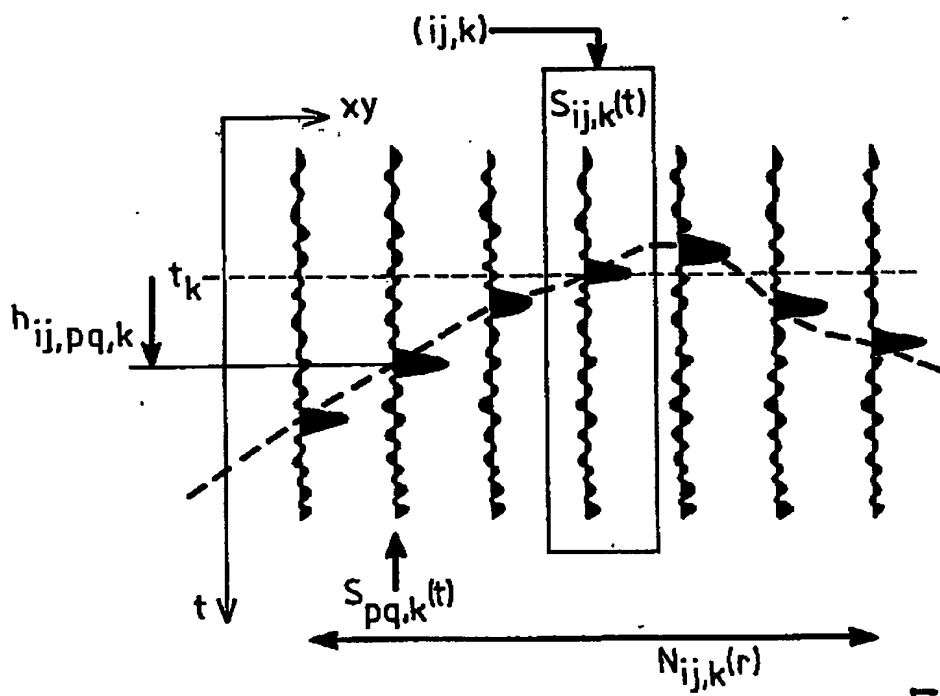
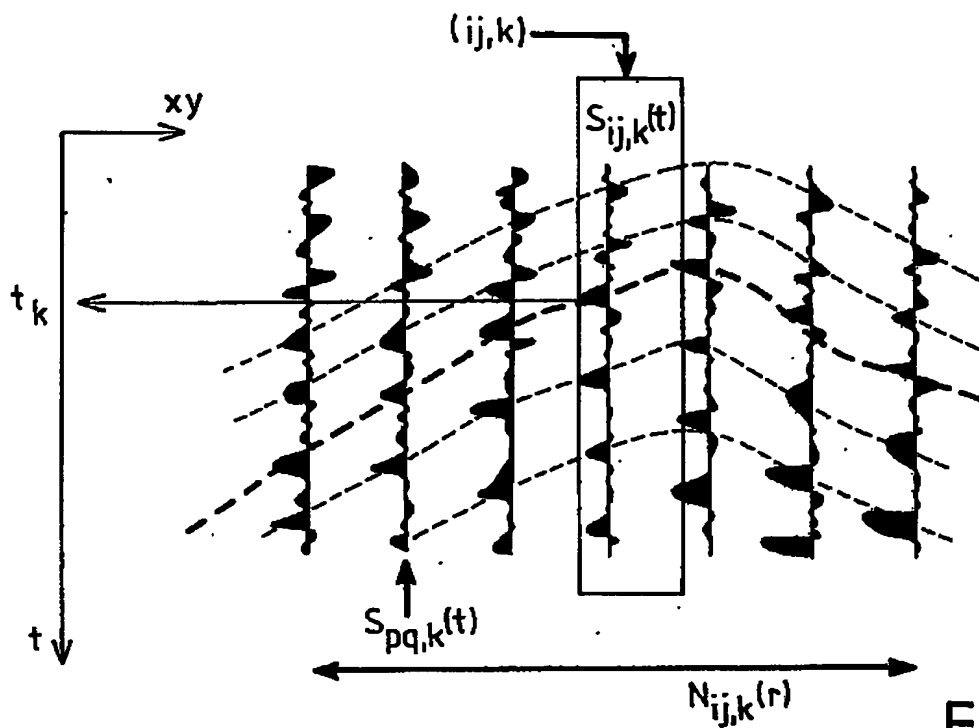
9. Produit-programme d'ordinateur, comportant des éléments de code de programme pour exécuter les étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

- 5 10. Produit-programme d'ordinateur, comportant des éléments de code de programme pour exécuter les étapes du procédé selon la revendication 6, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

1/3



2/3



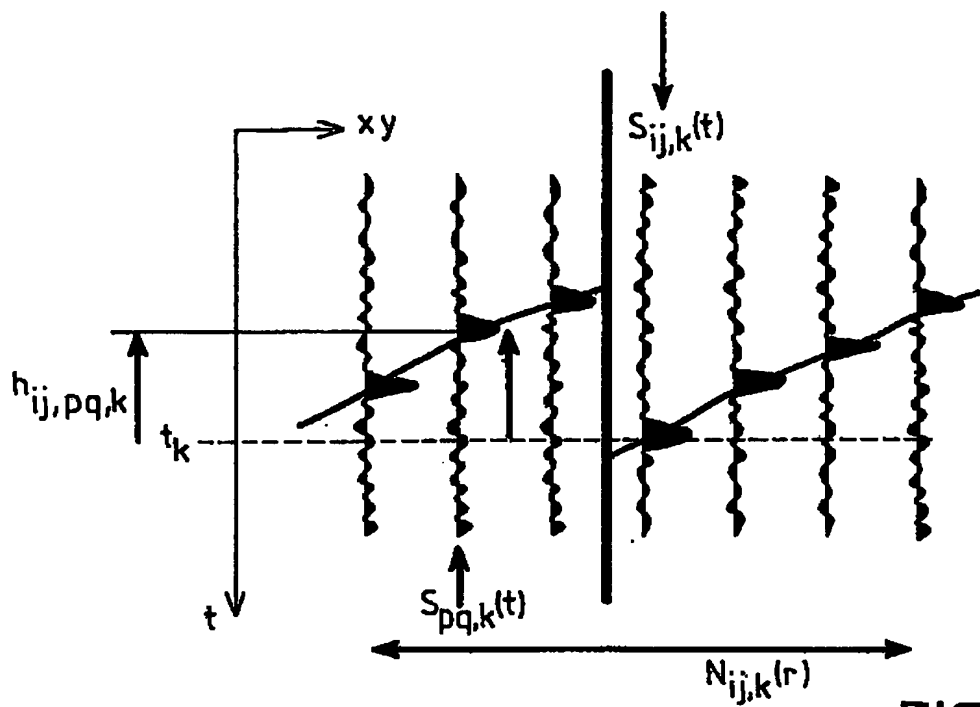


FIG. 5

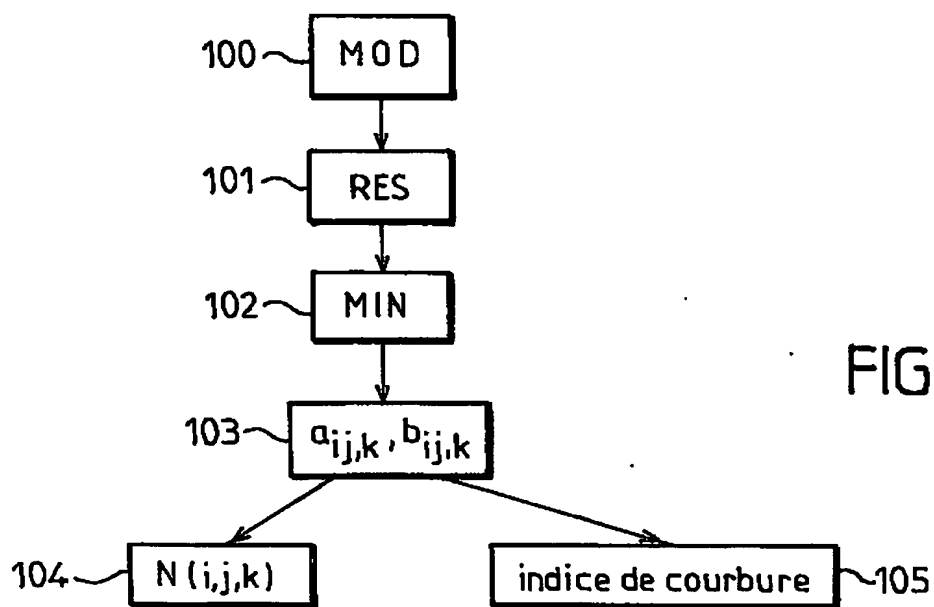


FIG. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/FR 03/01754

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01V1/28 G01V1/30

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01V

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 615 171 A (HILDEBRAND HAROLD A) 25 March 1997 (1997-03-25) column 5, line 31 -column 11, line 45 figures 1-10	1-10
Y	US 6 151 555 A (PEPPER RANDOLPH E F ET AL) 21 November 2000 (2000-11-21) cited in the application column 3, line 45 -column 5, line 38 figures 1-39	1-10
A	US 6 138 076 A (GRAF KERMIT E ET AL) 24 October 2000 (2000-10-24) column 5, line 4 -column 6, line 67 figures 19,20,23-28	1-10
	-/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *A* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 November 2003

Date of mailing of the international search report

13/11/2003

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patentplan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Modesto, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Publication No.

PCT/FR 03/01754

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 672 546 A (FLINCHBAUGH BRUCE E) 9 June 1987 (1987-06-09) column 2, line 33 -column 8, line 17 figures 1-10	1-10
A	US 5 930 730 A (KIRLIN R LYNN ET AL) 27 July 1999 (1999-07-27) column 5 -column 8 figures 1-10	1-10
A	US 2002/022930 A1 (DALLEY RICHARD MAPES ET AL) 21 February 2002 (2002-02-21) page 1, paragraph 16 -page 4, paragraph 59 figures 1-6	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International No

PCT/FR 03/01754

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5615171 A	25-03-1997	US 5432751 A	11-07-1995
		US 5251184 A	05-10-1993
		US 5153858 A	06-10-1992
		AT 129577 T	15-11-1995
		AT 190136 T	15-03-2000
		CA 2088501 A1	10-01-1993
		CN 1070267 A ,B	24-03-1993
		DE 69205673 D1	30-11-1995
		DE 69205673 T2	20-06-1996
		DE 69230731 D1	06-04-2000
		DE 69230731 T2	03-08-2000
		DK 548341 T3	04-12-1995
		DK 652447 T3	24-07-2000
		EP 0548341 A1	30-06-1993
		EP 0652447 A2	10-05-1995
		ES 2144480 T3	16-06-2000
		GR 3033559 T3	29-09-2000
		NO 930843 A	07-05-1993
		RU 2107931 C1	27-03-1998
		WO 9301508 A1	21-01-1993
US 6151555 A	21-11-2000	AU 3866300 A	28-09-2000
		CA 2362848 A1	14-09-2000
		EP 1198776 A1	24-04-2002
		GB 2370878 A ,B	10-07-2002
		NO 20014353 A	07-09-2001
		WO 0054207 A1	14-09-2000
US 6138076 A	24-10-2000	US 6014343 A	11-01-2000
		CA 2219216 A1	30-04-1998
		FR 2755244 A1	30-04-1998
		FR 2760275 A1	04-09-1998
		GB 2320968 A ,B	08-07-1998
		NO 975004 A	04-05-1998
US 4672546 A	09-06-1987	CA 1249876 A1	07-02-1989
		EP 0181216 A2	14-05-1986
		NO 854447 A	09-05-1986
US 5930730 A	27-07-1999	US 5563949 A	08-10-1996
		AU 709621 B2	02-09-1999
		AU 7382996 A	28-04-1997
		CA 2204168 A1	10-04-1997
		CN 1166207 A	26-11-1997
		EP 0796442 A1	24-09-1997
		NO 971801 A	05-06-1997
		WO 9713166 A1	10-04-1997
		US RE38229 E1	19-08-2003
		AU 696742 B2	17-09-1998
		AU 4133396 A	03-07-1996
		CA 2179901 A1	20-06-1996
		CN 1138902 A ,B	25-12-1996
		EG 20609 A	30-09-1999
		EP 0736185 A1	09-10-1996
		NO 962731 A	11-10-1996
		RU 2144683 C1	20-01-2000
		WO 9618915 A1	20-06-1996
		US 5838564 A	17-11-1998

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 03/01754

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5930730 A		RU 2187130 C2	10-08-2002
US 2002022930 A1	21-02-2002	AU 5616501 A	03-09-2001
		CA 2398854 A1	30-08-2001
		WO 0163323 A1	30-08-2001
		EP 1257850 A1	20-11-2002
		JP 2003524192 T	12-08-2003
		NO 20024030 A	23-08-2002